

**Mendelova univerzita v Brně
Zemědělský výzkum, spol. s r.o.**

Uplatněná certifikovaná metodika pro praxi

Metodika 60/23

**METODIKA PŘÍPRAVY A APLIKACE SÍRY KOMBINOVANÉ S
KOMPOSTEM DO ORNÉ PŮDY PRO ZVÝŠENÍ OBSAHU SÍRY V
PLODINÁCH A ZLEPŠENÍ PŮDNÍCH VLASTNOSTÍ**

Mgr. Jiří Holátko, Ph.D.
Ing. Tereza Hammerschmiedt
Ing. Antonín Kintl
Ing. Ondřej Malíček
Ing. Oldřich Látal, Ph.D.
Ing. Martin Brtnický

Brno 2022

Autoři

¹ Mgr. Jiří Holátko, Ph.D.

¹ Ing. Tereza Hammerschmiedt

^{1,2} Ing. Antonín Kintl

¹ Ing. Ondřej Malíček

¹ Ing. Oldřich Látal, Ph.D.

¹ Ing. Martin Brtnický

¹ Mendelova univerzita v Brně

² Zemědělský výzkum, spol. s r.o.

Dedikace:

Uplatněná certifikovaná metodika byla vypracována za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci projektu číslo TH04030142 „Využití odpadu produkovaného při výrobě bioplynu ke zlepšení půdních vlastností a zvýšení obsahu síry v rostlinách“.

Certifikace:

Metodika byla certifikována Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským osvědčením č. UKZUZ 031761/2023 ze dne 27.2.2023.

Oponovali:

Prof. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně

RNDr. Jiří Čuhel, Ph.D., Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Vydavatel:

© Zemědělský výzkum, spol. s r.o.

Zahradní 1, 664 41 Troubsko

ISBN:

978-80-88000-41-9

Metodika je volně dostupná ke stažení v elektronické verzi na odkazu:

<https://www.vupt.cz/cz/odborne-informace/metodiky-technologie-pro-praxi>

OBSAH

ABSTRAKT	4
KLÍČOVÁ SLOVA	4
CÍL METODIKY	4
ÚVOD	5
VLASTNÍ POPIS METODIKY	6
Charakteristika lokality a zemědělského podniku	6
Postup realizace	7
Odběr půdních vzorků a jejich analýzy	10
Hodnocení vybraných půdních parametrů a mimoekonomického přínosu	10
Hodnocení ekonomických přínosů	15
Srovnání „novosti postupů“	16
Popis uplatnění certifikované metodiky	16
SOUHRN.....	17
POUŽITÁ LITERATURA.....	18
SOUVISEJÍCÍ VÝSLEDKY DOSAŽENÉ BĚHEM ŘEŠENÍ PROJEKTU TH04030142.....	20

ABSTRAKT

Na pozemcích Zemědělské společnosti Sloveč, a.s. byly pro ověření metodických postupů v reálných podmínkách postupně založeny v letech 2021 a 2022 na vybraných lokalitách poloprovozní pokusy s řepkou ozimou. Ověřována byla aplikace organického hnojiva (kompostu) obohaceného o odpadní síru na vybrané půdní parametry, vůči standardní organické hmotě (hnojení kompostem bez přídatku). Pro účely ověřování výsledku byl v rámci daného managementu obhospodařování dále hodnocen výnos a posouzen ekonomický přínos. Inovační aspekt dosaženého výsledku spočívá v realizaci nových metodických postupů zaměřených na vliv aplikace organických hnojiv (kompostu) obohacených o odpadní síru na změnu vybraných půdních parametrů v rámci daného managementu obhospodařování, s dopadem do výnosu a ekonomiky. Přísun kvalitní organické hmoty do půdy je žádoucí z hlediska zachování jejího úrodnostního potenciálu a ochrany půdního fondu. Vzhledem k pozorovatelnému trendu ve zvýšení hektarových výnosů průměrně až o 229 kg/ha v porovnání s kontrolou přispěje zavedení nově ověřených metodických postupů ke zvýšení konkurenceschopnosti v zemědělské prvovýrobě u produkce zrna řepky olejné.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kompost; síra; půdní parametry; výnos; ekonomika

CÍL METODIKY

Cílem této metodiky je poskytnout zemědělským podnikům hospodařících na orné půdě informace, jak vlivem aplikace organického hnojiva (kompostu) obohaceného o odpadní síru zlepšit nejen výnos a ekonomickou bilanci pěstování řepky olejné, ale také vybrané půdní parametry. Pro účely ověřování daného výsledku v rámci sledovaného managementu obhospodařování byl hodnocen výnos a jeho kvalitativní parametry, ekonomický přínos a posouzeno zachování produkčních vlastností půdy.

ÚVOD

Management preferující aplikaci kvalitních organických hnojiv, která jsou obecně považována za zdroj půdní organické hmoty a mají vysokou hnojivou hodnotu s postupným uvolňováním živin pro výživu rostlin, je základním principem udržitelného hospodaření na orné půdě. Organická hnojiva příznivě ovlivňují režim výživy rostlin zvláště tím, že zlepšují fyzikálně-chemické vlastnosti půdy (poměr vody a vzduchu; poutání živin; zlepšení pufrační schopnosti půd) a zvyšují mikrobiální aktivitu v půdě (Samuil et al., 2009). Aplikace organických hnojiv zejména hnoje příznivě ovlivňuje růst rostlin, poskytuje výživu půdním organismům, dodává genetickou a funkční rozmanitost půd a zlepšuje chemické a fyzikální vlastnosti půdy (Liu et al. 2010). Nejběžnějším tradičním organickým hnojivem je hnůj, vyráběný fermentací odpadních produktů z různých typů živočišné výroby, tzn. chovů různých hospodářských zvířat (nejběžnější kravský, prasečí, drůbeží aj.).

S poklesem stavu hospodářských zvířat je vyprodukované množství hnoje v ČR mnohdy nedostatkové a je nutné hledat další alternativy v podobě jiných organických hnojiv či meziplodin. Dalším organickým hnojivem a zdrojem kvalitní organické hmoty je kompost. Kompost je organické hnojivo vzniklé řízeným aerobním rozkladem organického materiálu - živočišných nebo rostlinných odpadů (Rigby a Cáceres 2001). Kompost získaný z rostlinného materiálu (např. u statkového kompostu výhradně ze zemědělské výroby) může být méně bohatý na některé živiny, avšak obsahuje širokou škálu mikroorganismů; jeho složení závisí na výchozí surovině (Sun et al. 2015). Aplikace kompostu zlepšuje strukturu půdy, půdní úrodnost a je důležitým zdrojem živin (Záhora et al., 2015). Doporučené dávkování kompostu se v současné době pohybuje od 30 do 50 t/ha jednou za 3 roky. Limitujícím faktorem je jeho vyšší cena a dostupnost. Nicméně, v poslední době dochází k výraznému nárůstu prodejní ceny průmyslových hnojiv a zemědělci jsou nuceni v souladu s udržitelným hospodařením omezit jejich spotřebu v neprospěch snížení hektarových výnosů. Např. dle ČSÚ (2022) stála v prvním čtvrtletí 2021 1 tuny močoviny průměrně 8 275 Kč, ale ve druhém čtvrtletí 2022 se vyšplhala až na 22 714 Kč. Proto se ke slovu dostávají stále častěji organická hnojiva.

Užití kompostu jako organického hnojiva tedy může mít aktuálně výhody jak ekonomické, tak environmentální, neboť oproti dlouhodobým aplikacím minerálních hnojiv nemá žádné negativní důsledky pro půdní ekosystém a kvalitu půdy. I přesto je však klasický statkový kompost pro většinu zemědělských aplikací málo vhodný (Seufert et al. 2012), z důvodu pomalého uvolňování a limitovaného obsahu živin, suboptimálního pro podporu rostlin (Berry et al. 2002). Nedostatkovou živinou většiny typů kompostu je např. síra, klíčová živina pro výživu a zdraví polních kultur řepky olejné (Salac et al. 2006; Sarda et al. 2014). Avšak intenzifikace zemědělské činnosti, pokles aplikace sirnatých hnojiv a nízká návratnost síry vlivem nedostatku statkových hnojiv a snížením atmosférických vstupů má za následek nedostatek síry v půdě (Blair 2002). Ten má vliv na výnos řepky a její kvalitu, zejména na syntézu bílkovin, enzymů a aminokyselin. Např. Scherer (2001) doporučuje dostatečné pokrytí poptávky síry v rámci jednotlivých plodin daného osevního postupu. Hu et al. (2005) upozorňují na snížení využitelnosti síry, vysrážením síranů s uhličitánem vápenatým na vápenatých půdách, vedoucí k nižší dostupnosti pro příjem rostlinami v závislosti na pH rhizosféry. Hnojením sírou společně s organickými hnojivy je jednou z cest, jak můžeme zlepšit podmínky pro růst řepky i celkovou rentabilitu zemědělské produkce. Dojde tím ke zlepšení celkového zdraví a kvality půdy, ale i kvality plodiny. Možné je využít např. odpadní elementární síru pocházející z odsiřovacího zařízení při výrobě bioplynu u bioplynových stanic, což lze považovat za využití vedlejšího produktu šetrné k životnímu prostředí. Elementární síra mj. zlepšuje dostupnost živin (Chapman 1989; Soltanaeva et al. 2018), účinnost výživy rostlin (Matamwa et al. 2018; Soltanaeva et al. 2018), zmírňuje toxicitu kovů (Dixit et al. 2015),

moduluje pH půdy (Hu et al. 2007; Almutairi et al. 2017), a eliminuje rostlinné škůdce (Gadino et al. 2011). Úprava kompostu elementární sírou proto hypoteticky poskytne vyšší přínos obou hnojiv pro půdní vlastnosti, výživu řepky a její výnos (tzn. i ekonomický přínos), při zachování produkčních a kvalitativních vlastností půdy.

VLASTNÍ POPIS METODIKY

Na pozemcích Zemědělské společnosti Sloveč, a.s. byly pro ověření metodických postupů v reálných podmínkách postupně založeny v letech 2021 a 2022 na vybraných lokalitách poloprovozní pokusy s řepkou ozimou. Ověřována byla aplikace organického hnojiva (kompostu) obohaceného o odpadní síru na vybrané půdní parametry, vůči standardní organické hmotě (hnojení kompostem bez přídavku). Pro účely ověřování výsledku byl v rámci daného managementu obhospodařování dále hodnocen výnos a posouzen ekonomický přínos.

Charakteristika lokality a zemědělského podniku

Podnik se nachází ve Středočeském kraji ve výrobní oblasti řepařské. Poloprovozní pokusy probíhaly v roce 2021 v blízkosti obce Sloveč a v roce 2022 v blízkosti obce Městce Králové. Jedná se o klimatický region teplý a suchý – T2. Průměrná nadmořská výška je 212 m n. m., průměrná roční teplota 9,4 °C a průměrný roční úhrn srážek 550–600 mm. V této oblasti se nachází převážně těžká černozem.

Podnik obhospodařuje celkem 2 999 ha zemědělské půdy. V rámci rostlinné výroby podnik pěstuje plodiny jak tržní, tak i pro zabezpečení krmné základny: pšenice ozimá, pšenice jarní, ječmen ozimý, ječmen jarní, řepka ozimá, řepa cukrovka, silážní kukuřice, sója, mák, len setý a víceleté pícniny na orné půdě. V rámci živočišné výroby je podnik specializován na chov dojného skotu. Základní stádo se sestává z 747 dojnic plemene holštýnský skot a kříženci.



Obrázek 1: Mapa lokality 2021



Obrázek 2: Mapa lokality 2022

Postup realizace

Vybraný pozemek s poloprovozními variantami byl rozdělen do jednotlivých variant v souladu s Tabulkou 1 o velikosti každé varianty cca 0,4 ha dle záběru stroje. Pro účely následného vzorkování byla každá varianta rozdělena na 3 stejnoměrné díly (subvarianty). Aplikace kompostu, síry a dodatkové hnojení byla provedena v souladu s osevním plánem. Pozemek byl obhospodařován standardními agrotechnickými postupy v místě obvyklými.

Tabulka 1: Varianty pokusu a aplikace

Varianta a aplikace		APLIKACE t/ha	
		2021	2022
kontrola (pouze NPK)	K	-	-
síra	S	0,15	0,15
kompost	KO	10	10
kompost + síra	KO + S	10 + 0,15	10 + 0,15

Elementární síra pochází z odsiřovacího zařízení THIOPAQ (Paques, Holandsko), které je využíváno k čištění bioplynu. Jedná se o sypký vedlejší produkt s obsahem síry 73–78 %, který je možné využít jako náhradu sirných hnojiv. Aplikační dávka byla přepočítána na 150 kg čistých živin na hektar.

Kompost byl vyroben v zemědělském podniku z vlastního bioodpadu, bioodpadu obce a 30 % podílu Organic, což je kompostovaná drůbeží podestýlka, která se komerčně vyrábí v PROAGRO Nymburk a.s..

Kompost se sírou byl vyroben dle metodiky na hnojišti, kdy předepsaná dávka elementární síry byla rovnoměrně vmíchána do kompostu s využitím mechanizace (nakladač). Kompost byl poté vytvarován do figury a zakryt plachtou po dobu alespoň 2 měsíců z důvodu zlepšení kvality fermentačního procesu, snížení produkce volného amoniaku a zamezení vniknutí srážek.

Aplikace kompostu, jejich kombinace s elementární sírou a elementární síra samotná byla provedena v srpnu 2020 a 2021. K aplikaci na pole byla využita rozmetadla statkových hnojiv (kompost a jejich kombinace se sírou). Samotná síra byla aplikována s využitím rozmetadla průmyslových hnojiv. Po aplikacích byl pozemek obhospodařován dle agrotechnických postupů v místě obvyklých.

Tabulka 2: Chemické parametry aplikovaných organických hnojiv

Hnojivo	pH	Cox	C	N	P	K	S
	-	%	%	%	g/kg	g/kg	%
Kompost	9,40±0,38 ^a	5,86±0,24 ^b	10,89±0,44 ^b	1,37±0,06 ^a	3,85±0,16 ^a	26,36±1,08 ^a	1,14±0,05 ^b
Kompost + síra	9,49±0,39 ^a	6,83±0,28 ^a	13,33±0,54 ^a	1,11±0,05 ^b	4,02±0,16 ^a	25,98±1,06 ^a	1,50±0,06 ^a

Pozn.: Hodnoty jsou uvedeny v sušině jako průměr ± směrodatná odchylka (n=3); různá písmena značí statistické rozdíly mezi variantami na ≤ 5% hladině statistické významnosti na základě t-testu.

Rok 2021

V roce 2020 byla vybrána lokalita „Drážka“ (GPS: 50.2366456 N, 15.3176817 E), kde bylo v souladu s plánem činností poloprovozních pokusů pro rok 2021 provedeno dne 28. 8. 2020 setí řepky ozimé odrůdy TREZZOR o výsevku 0,85 VJ/ha (340 semen/m²). Organické hnojení, elementární síra a zásobní živiny (NPK u variant bez organického hnojení) byly aplikovány dle metodiky v srpnu 2020. Celoplošné přihnojení třemi dávkami průmyslových hnojiv bylo provedeno v měsících března až dubna 2022. Celková dávka živin byla stanovena dle normativu na N₁₇₀P₃₅K₁₇₅.

V průběhu hospodářského roku 2020/2021 byla hodnocena tři růstová stádia rostlin řepky ozimé dle Baiera et al. (1988) při průměrné analýze a odběru 3×50 rostlin / varianta:

- I. hodnocení [rozvinutí čtyř až šesti pravých listů] dne 20. 11. 2020;
- II. hodnocení [plný květ: asi 50 % květů na hlavním stonku otevřených] dne 1. 6. 2021;
- III. hodnocení [druhá technická zralost] dne 23. 7. 2021.

Tabulka 3: Hodnocení růstových stádií řepky ozimé a výnosů 2021

Varianta	Výška 1 rostliny (cm)		Výnos (kg/ha)
	20.11.	1.6.	23.7.
K	20,5	115,8	2 592±102 ^a
S	21,9	124,7	2 624±103 ^a
KO	22,7	123,8	2 691±105 ^a
KO+S	21,5	128,7	2 899±111 ^a

Pozn.: Hodnoty jsou uvedeny jako průměr ± směrodatná odchylka (n=3); různá písmena značí statistické rozdíly mezi variantami na ≤ 5% hladině statistické významnosti na základě Tukeyho testu.

Výnos plodin u jednotlivých variant byl vyhodnocen s využitím standardní samojízdné sklízecí mlátičky dne 23. 7. 2021.



Obrázek 3: průběžné hodnocení porostu řepky ozimé (1. 6. 2021)

Rok 2022

V roce 2021 byla vybrána lokalita „Městecká“ (GPS: 50.2079661 N, 15.3221019 E), kde bylo v souladu s plánem činností poloprovozních pokusů pro rok 2022 provedeno dne 10. 9. 2021 setí řepky ozimé odrůdy TREZZOR o výsevu 0,85 VJ/ha (340 semen/m²). Organické hnojení, elementární síra a zásobní živiny (NPK u variant bez organického hnojení) byly aplikovány dle metodiky v září 2021. Celoplošné přihnojení třemi dávkami průmyslových hnojiv bylo provedeno v měsících března až dubna 2022. Celková dávka živin byla stanovena dle normativu na N₁₇₀P₃₅K₁₇₅.

V průběhu hospodářského roku 2021/2022 byla hodnocena tři růstová stádia rostlin řepky ozimé dle Baiera et al. (1988) při průměrné analýze a odběru 3×50 rostlin / varianta:

- I. hodnocení [rozvinutí čtyř až šesti pravých listů] dne 23. 11. 2021;
- II. hodnocení [plný květ: asi 50 % květů na hlavním stonku otevřených] dne 13. 5. 2022;
- III. hodnocení [druhá technická zralost] dne 21. 7. 2022.

Tabulka 4: Hodnocení růstových stádií řepky ozimé a výnosů 2022

Varianta	Výška 1 rostliny (cm)		Výnos (kg/ha)
	23.11.	13.5.	21.7.
K	10,7	68,4	3 917±155 ^a
S	12,2	89,1	4 017±160 ^a
KO	12,7	85,8	4 000±160 ^a
KO+S	13,7	87,2	4 067±159 ^a

Pozn.: Hodnoty jsou uvedeny jako průměr ± směrodatná odchylka (n=3); různá písmena značí statistické rozdíly mezi variantami na ≤ 5% hladině statistické významnosti na základě Tukeyho testu.

Výnos plodin u jednotlivých variant byl vyhodnocen s využitím standardní samojízdné sklízecí mlátičky dne 21. 7. 2022.



Obrázek 4: Sklizeň řepky ozimé (21.7.2022)

Každá subvarianta byla sklizena celá na traktorový přívěs, který byl neprodleně zvážen na mobilní nápravové váze o váživosti 0-15 t (přesnost ±1 kg) a dále byl vyhodnocen výnos (t/ha) za celou variantu.

V obou sledovaných letech nebyly rozdíly ve výnosu statisticky významné, avšak bylo možné pozorovat jasný trend zvyšujícího se výnosu v závislosti na hnojení. V roce 2021 byl oproti kontrole, nejvyšší rozdíl průměrného výnosu řepky ozimé u varianty KO + S (307 kg/ha). V roce 2022 byl oproti kontrole, nejvyšší rozdíl průměrného výnosu řepky ozimé opět u varianty KO+S (150 kg/ha). Rozdíl průměrných výnosů u varianty S (100 kg/ha) a varianty KO (83 kg/ha) 2022 byl poměrně vyrovnaný.

Obsah síry v zrna

Tabulka 5: Průměrný obsah síry v sušině zrna řepky ozimé

Varianta	Obsah S (%)
K	0,216 ± 0,028 ^a
S	0,269 ± 0,111 ^a
KO	0,188 ± 0,023 ^a
KO+S	0,271 ± 0,022 ^a

Pozn.: Hodnoty jsou uvedeny jako průměr ± směrodatná odchylka (n=3); různá písmena značí statistické rozdíly mezi variantami na ≤ 5% hladině statistické významnosti na základě Tukeyho testu.

Obsah síry v sušině zrna řepky ozimé byl vyhodnocen za obě sledované sezony 2021 a 2022. Tyto průměrné hodnoty byly sice vyšší ve variantách S a KO+S než v kontrole K (a variantě KO), avšak rozdíl nebyl statisticky průkazný. Některé studie uvádí korelaci mezi aktivitou arylsulfatasy, obsahem síry v půdě a míry jejího příjmu rostlinou (Legay et al. 2014; Siwik-Ziomek a Szczepanek 2017). To

znamená, že srovnatelná aktivita arylsulfatasy neukazuje na významné rozdíly v dostupnosti síry pro rostliny. Vycházejíce z tohoto předpokladu, lze dát neprůkazné rozdíly v obsahu síry v produkované biomase do souvislosti s velmi podobnými, srovnatelnými hodnotami aktivity arylsulfatasy v půdě všech variant v letech 2021 a 2022.

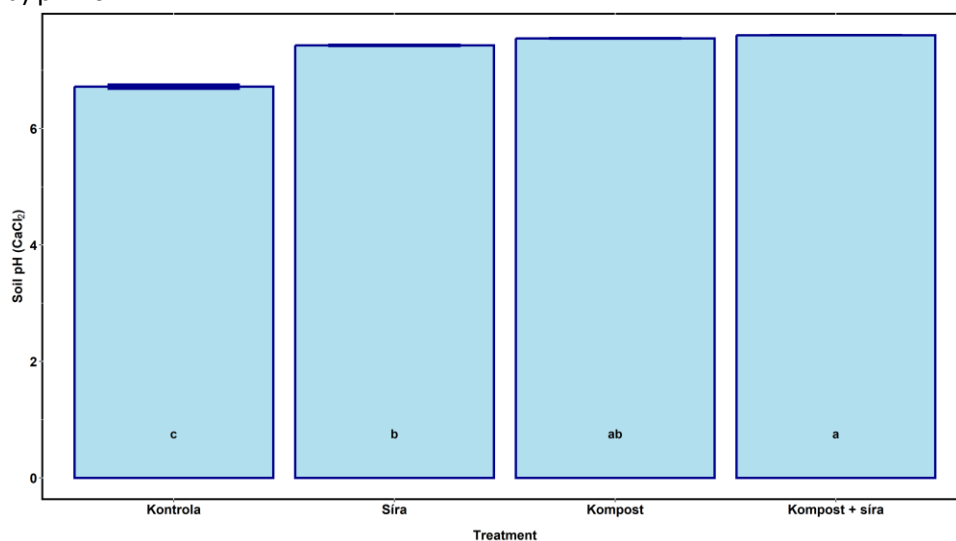
Odběr půdních vzorků a jejich analýzy

Každý rok po sklizni řepky byly odebrány půdní vzorky z hloubky 0-15 cm. Z jednotlivých variant byly odebírány tři souhrnné porušené vzorky, z nichž se každý skládal z osmi jednotlivých dílčích vzorků. Každý souhrnný vzorek byl homogenizován, zbaven rostlinných a živočišných zbytků a proset sítem o velikosti ok 2 mm na tzv. jemnozemi. V odebraných vzorcích půdy bylo měřeno pH a biologické vlastnosti: enzymatické aktivity (fosfatasa = Phos a arylsulfatasa = ARS), bazální (BR) a substrátem (D-glukosou) indukovaná respirace (Glc-SIR). Pro měření pH dle (ISO 10390:2005) byly využity na vzduchu sušené vzorky. Vzorky pro analýzu enzymatických aktivit dle (ISO 20130:2018) byly mrazem vysušené. Ve vzorcích skladovaných při 4 °C byla stanovena respirace, a to metodou MicroResp podle původní metodiky (Campbell et al. 2003) a oficiálního protokolu dodavatele (Technická příručka v2.1, Institut Jamese Huttona).

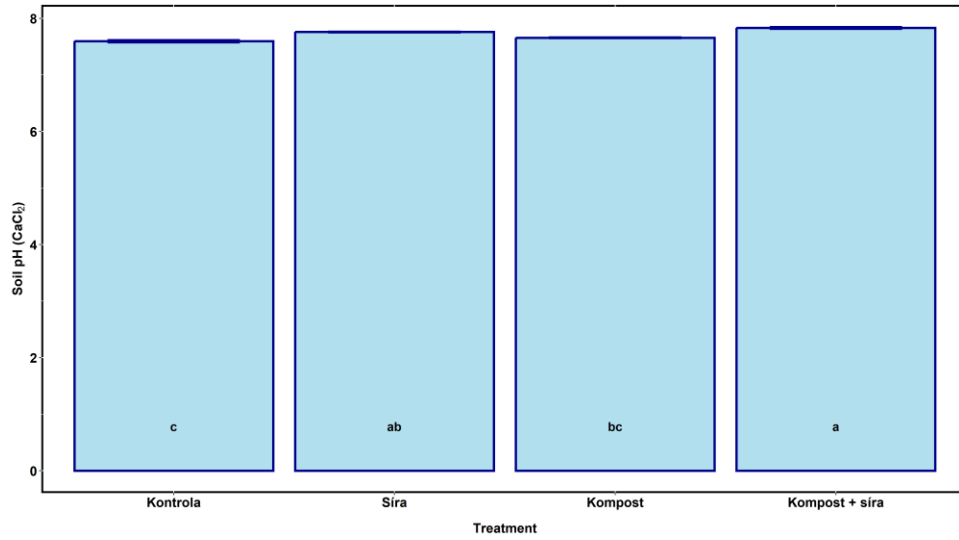
Hodnocení vybraných půdních parametrů a mimoekonomického přínosu

Kompost přispívá v půdě ke stabilizaci pH (Wu et al. 2000). V roce 2021 bylo půdní pH signifikantně zvýšeno aplikací všech půdních přídatků a hnojení (Obrázek 5a), v porovnání s variantou S byl vzrůst pH vyšší vlivem přídatku KO + S s nejvyšší hodnotou pH. V roce 2022 pak bylo půdní pH zvýšeno (statisticky průkazně) v porovnání s kontrolou pouze u variant S a KO + S (Obrázek 5b). Elementární síra má popsáný acidifikační účinek, proto je překvapivé, že samotná aplikace elementární síry (s očekávaným poklesem pH) byla doprovázena mírně bazickou půdní reakcí. I koaplikace kompostu se sírou měla konečný alkalizující efekt, vysvětlením by byla vysoká pufrací schopnost půdy podmíněná obsahem minerálů (vápník, hořčík), tyto faktory mohou zabránit poklesu pH (Germida a Janzen 1993). Takový pufrací účinek kompostovaného materiálu se podobně jako ve studii (Costello a Sullivan 2013) mohl uplatnit u přídatku KO + S.

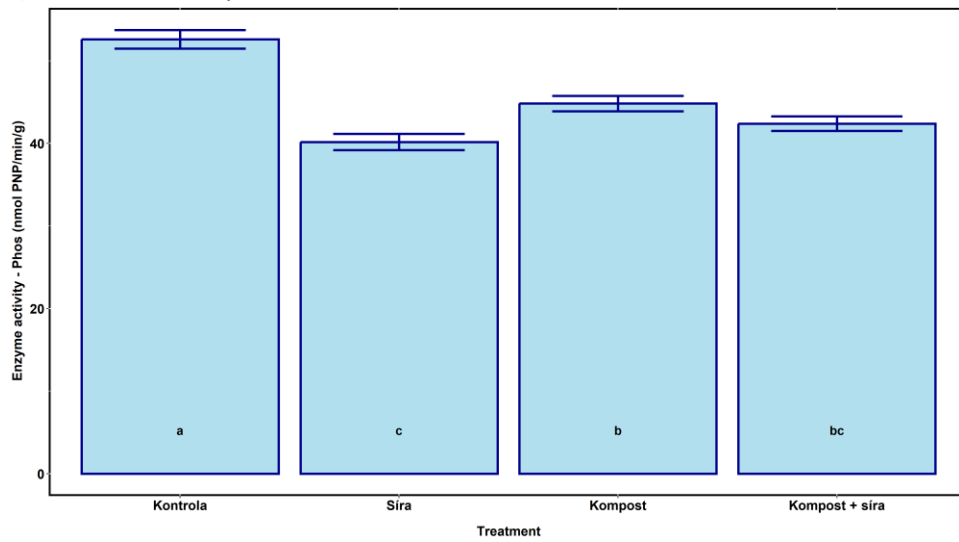
a) pH 2021



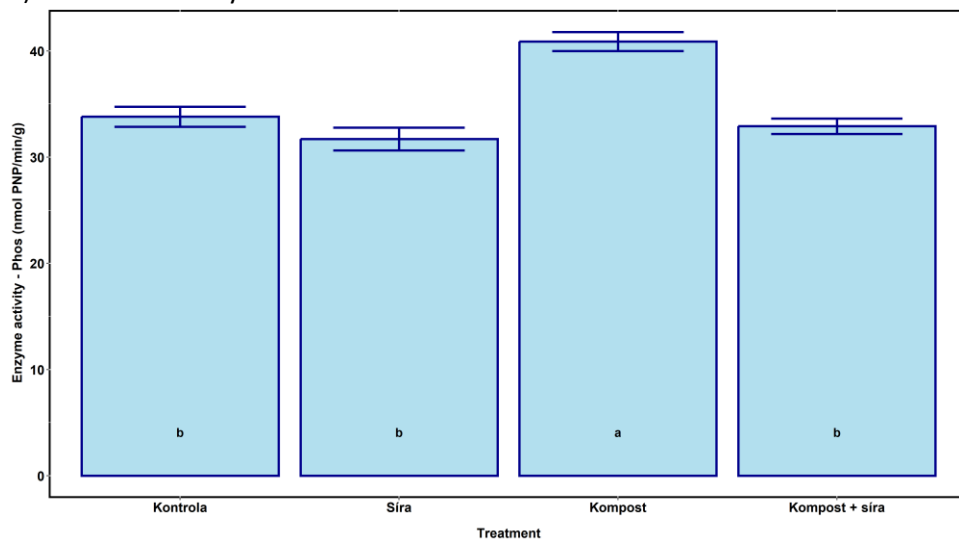
b) pH 2022



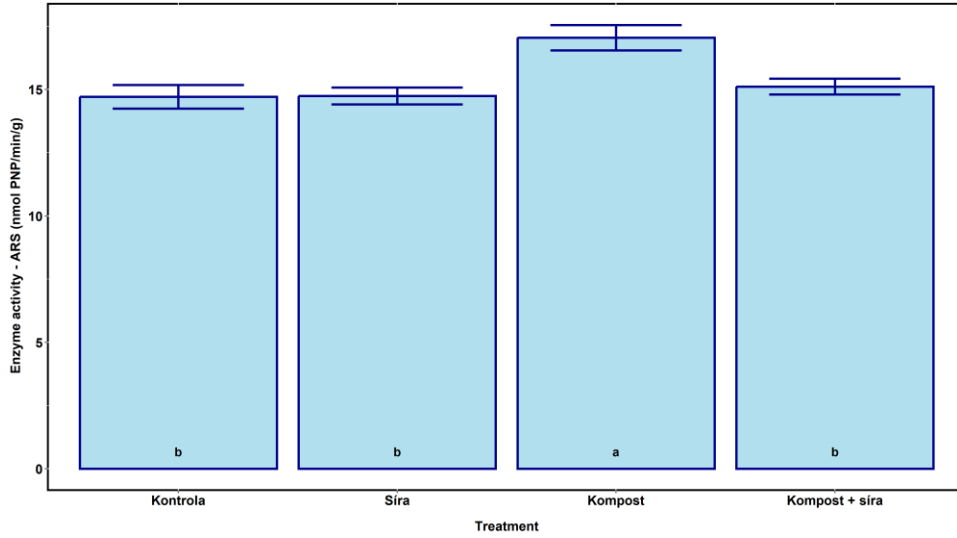
c) aktivita fosfatasy 2021



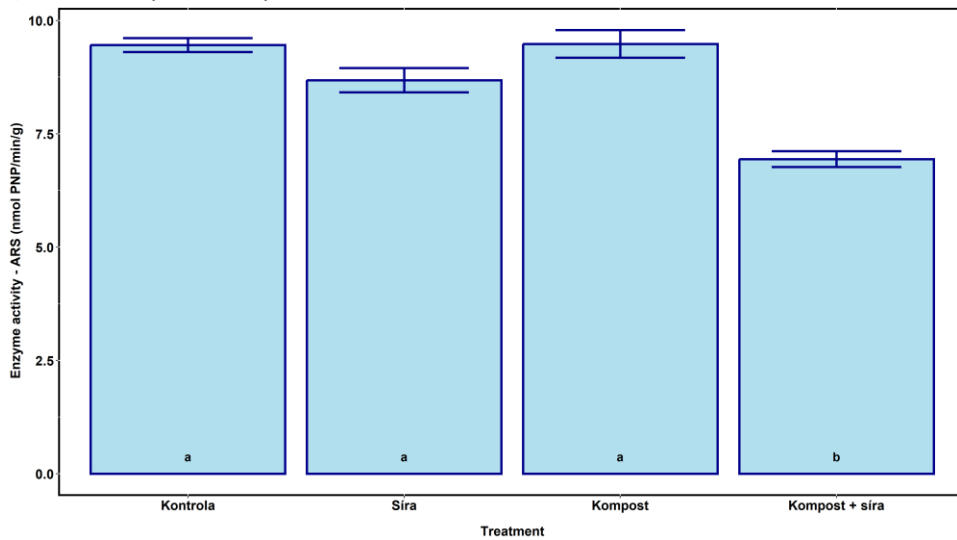
d) aktivita fosfatasy 2022



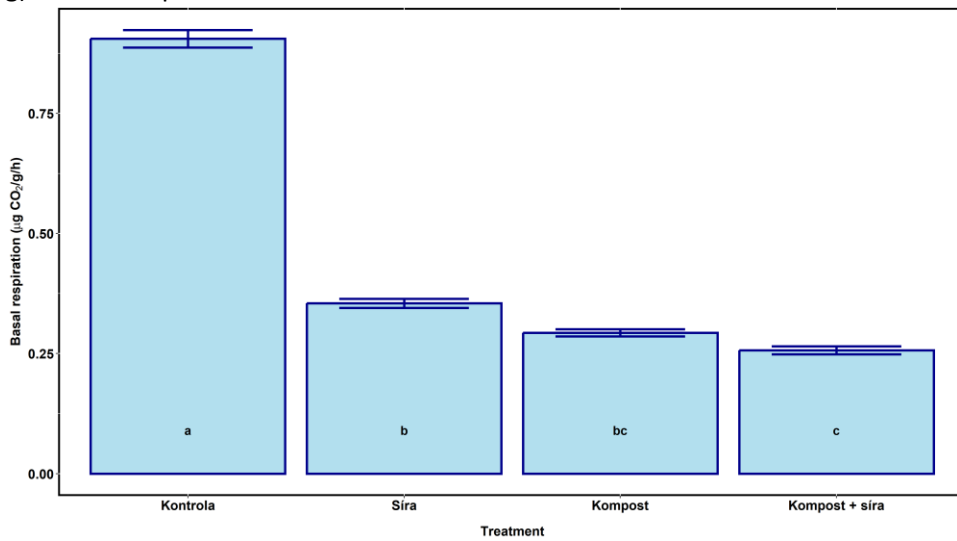
e) aktivita arylsulfatasy 2021



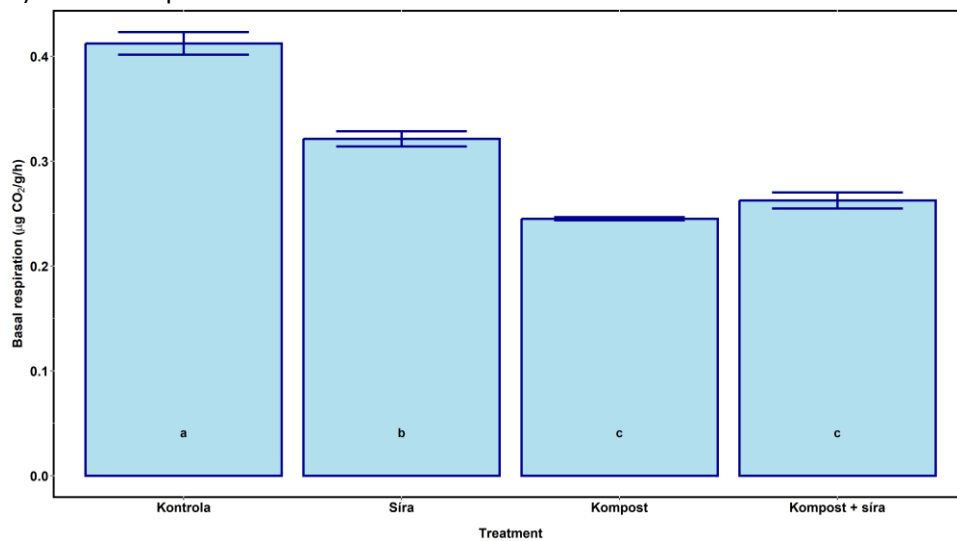
f) aktivita arylsulfatasy 2022



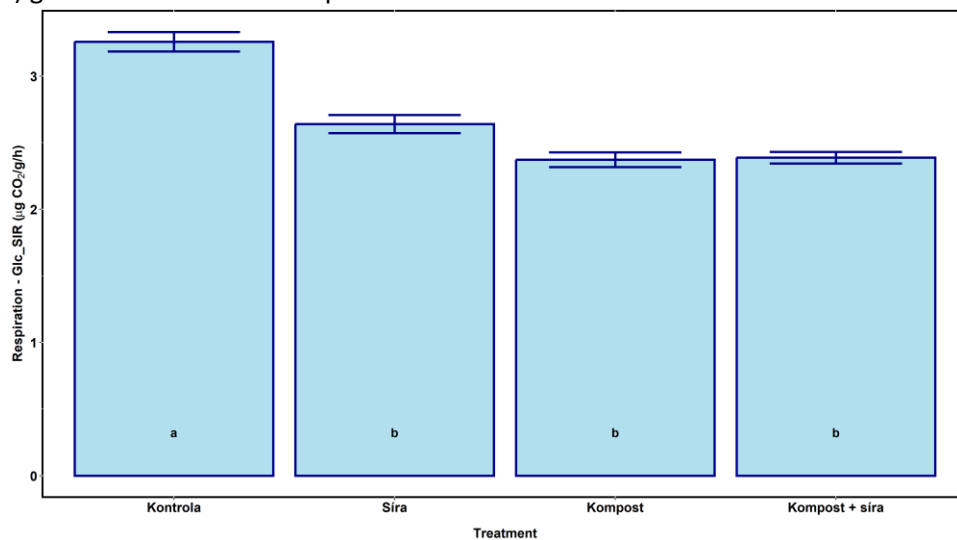
g) bazální respirace 2021



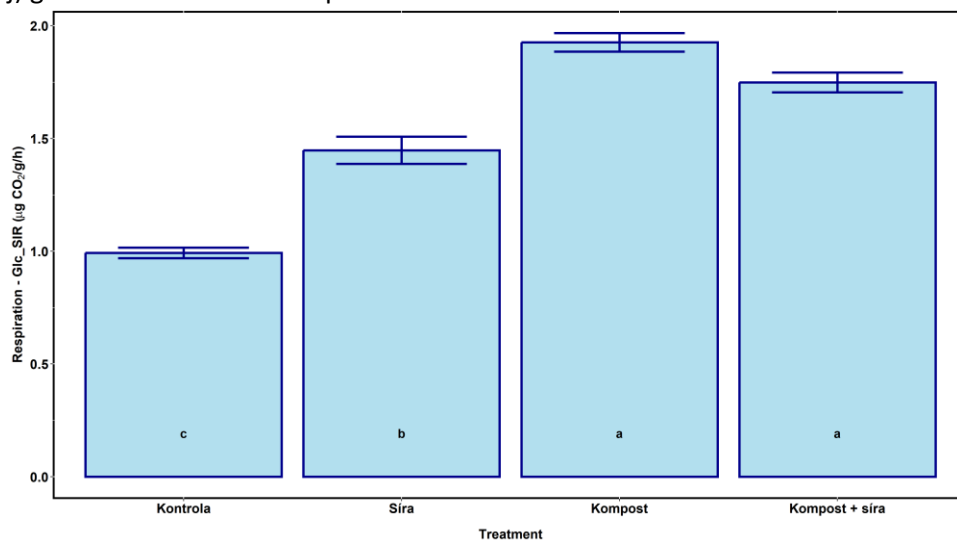
h) bazální respirace 2022



i) glukosou indukovaná respirace 2021



j) glukosou indukovaná respirace 2022



Obrázek 5: Půdní vlastnosti ve variantách hnojených elementární sírou a kompostem s/bez elementární síry v letech 2021 a 2022.

Sloupce zobrazují průměrné hodnoty, chybové úsečky střední chybu průměru (SEM); různá písmena značí statistické rozdíly mezi variantami na $\leq 5\%$ hladině statistické významnosti na základě Tukeyho testu.

Fosfatasa (Phos) je zúčastněna v mineralizaci fosforu a v roce 2021 byla ve všech variantách s přidavky kompostu nebo element. síry snížena v porovnání s kontrolou, nejvíce pak ve variantách s S^0 (Obrázek 5c). V roce 2022 byla Phos u obou variant s S^0 (S a KO + S) srovnatelná s kontrolou, signifikantně vyšší byla pouze u varianty KO (Obrázek 5d). Elementární síra působí pozitivně na obsah pro rostliny využitelného fosforu (Grigatti et al. 2019). Snížená aktivita Phos ve variantách s přidavkem samotné elementární síry bez a s kompostem mohla být způsobena intenzivnější mineralizací fosforu v půdě, podobně jak uvádí jiní autoři (Ye et al. 2011b; Bustamante et al. 2016) a to pravděpodobně vedlo k rychlému výraznému nárůstu dostupného fosforu a následnému potlačení dalších mineralizačních procesů organofosfátů.

Arylsulfatasa (ARS) je enzym katalyzující mineralizaci organosulfátů. Signifikantně zvýšená ARS oproti kontrole byla v roce 2021 pouze ve variantě KO, varianty s obsahem S^0 měly hodnoty ARS s kontrolou srovnatelné (Obrázek 5e). V roce 2022 byla ARS statisticky srovnatelná s neošetřenou kontrolou u všech ošetřených variant s výjimkou KO + S (Obrázek 5f). ARS, která je produkována spektrem půdních bakterií, je semi-kvantitativním indikátorem půdní bakteriální biomasy. V metabolismu síry je důležitá pro tvorbu síranů, tzn. formy využitelné rostlinami. Nejvyšší aktivita ARS byla zjištěna ve variantě KO. Pravděpodobně poukázala na to, že v ostatních obohacených variantách byla síranová forma živiny výsledkem oxidace elementární síry již v průběhu kompostování anebo následně v půdě, nikoliv výsledkem mineralizace organosulfátů. Také ve studii (Ye et al. 2011a) nebyl potvrzen pozitivní vliv elementární síry na mineralizační aktivity v půdě.

Bazální respirace (BR) je ukazatelem celkové aerobní degradační aktivity SOM v půdě a mineralizace uhlíku. Jak v roce 2021, tak i 2022 měly všechny přidavky hnojiv a element. síry v porovnání s neošetřenou kontrolou výrazně negativní vliv na BR (Obrázky 5g, h). Míra mineralizace uhlíku byla nejvíce snížena ve variantách KO i KO + S a v důsledku vedla pravděpodobně ke zvýšené sekvestraci uhlíku (C), patrně kvůli možnému nadbytku C nad obsahem ostatních živin (dusíku aj.). Podle studie (Ksiezopolska et al. 2011) půda obohacená hnojem jeví nejmenší míru mineralizace půdního organického uhlíku, a tak nízké hodnoty BR ukazují na zpomalení utilizace uhlíku v půdě a sekvestraci organického uhlíku v půdě. V rozporu se studiemi (Kelleher et al. 2017; Malik et al. 2021) popisujícími zvýšenou půdní respiraci a emise CO_2 při aplikaci a zvýšené oxidaci elementární síry, v tomto experimentu přidavek síry (kompostu + síry) způsobovali opačný jev, pokles aerobní mineralizace půdního organického uhlíku. Přepokládanou příčinou je zvýšení dostupnosti živin v půdě (Ye et al. 2011b) vlivem oxidace síry, které stimuluje transformaci látek v půdní organické hmotě, avšak s výsledným potlačením úplné mineralizace půdního organického uhlíku.

Ukazatelem celkového potenciálu mineralizace uhlíku v půdě a nepřímo i biomasy aerobních mikroorganismů je respirace indukovaná D-glukosou (Glc-SIR). Všechny půdní přidavky snížily Glc-SIR v porovnání s kontrolou (Obrázek 5i) na lokalitě „Dražka“ v roce 2021, zatímco v roce 2022 na lokalitě „Městecká“ byla Glc-SIR naopak prokazatelně zvýšena u všech variant (oproti kontrole), v průměru pak nejvíce u variant KO a KO + S (Obrázek 5j). Z těchto výsledků lze odvodit, že za určitých podmínek (klimatické, půdní, topografické apod.) kompost i kombinace elementární síry a kompostu mohou přispívat ke zvýšení biomasy aerobních půdních mikroorganismů, podobně jak bylo popsáno u hnoje (Malik et al. 2021).

Celkově byl prokázán pozitivní účinek přidavku elementární síry koaplikované s kompostem na pH a na biomasu a respirační potenciál aerobních mikroorganismů v mikrobiomu půdy polní kultury řepky v roce 2022. Naopak bazální půdní respirace se vlivem aditiv snížila, nejvíce přidavkem kompostu a

kompostu s elementární sírou. Toto potlačení katabolických aktivit a mineralizace uhlíku může dokládat pozitivní vliv na sekvestraci půdní organické hmoty a půdní organický uhlík. Přídavky se sírou (samotnou a kombinace s kompostem) snížily v roce 2021 aktivitu fosfatasy, jako možný důsledek rapidního zvýšení dostupnosti mineralizované formy fosforu, vedoucí k potlačení dalších procesů solubilizace. Ve variantách s element. sírou (zejména kompost s element. sírou) pravděpodobně probíhala transformace pro rostlinu (řepku) nezbytných síranů oxidací síry, nikoliv organosulfátů a to vedlo k nižší aktivitě arylsulfatasy.

Hodnocení ekonomických přínosů

Ekonomický dopad byl vyhodnocen rozdílem vícenákladů na pořízení a aplikace síry a kompostu v rámci dané varianty a vyššího ocenění produkce, tzn. výnosu řepky ve vztahu ke kontrolní variantě.

Kalkulované vstupy

Roční vícenáklady na síru a kompost při uvedené dávce:

- Síra (využitelnost 4 roky): 675 Kč/ha
- Kompost (využitelnost 4 roky): 1 000 Kč/ha

Vícenáklady aplikaci síry a kompostu při uvedené dávce:

- Síra: 300 Kč/ha
- Kompost: 500 Kč/ha
- Kompost + síra: 1 000 Kč/ha

Výnosy: Ocenění produkce dle průměrné ceny v daném roce sklizně [ČSU, 2022]:

- Řepka ozimá (2021): 12 031 Kč/tuna
- Řepka ozimá (2022): 17 409 Kč/tuna

Tabulka 6: Kalkulace výnosu řepky ozimé v letech 2021-2022

Varianta	2021			2022			SUMA	Výnosy
	kg/ha	kg/ha	Kč/ha	kg/ha	kg/ha	Kč/ha		
		ku kontrole			ku kontrole		Kč/ha	Kč/ha/rok
K	2 592	0	0	3 917	0	0	0	0
S	2 624	32	385	4 017	100	1 741	2 126	1 063
KO	2 691	99	1 191	4 000	83	1 445	2 636	1 318
KO+S	2 899	307	3 694	4 067	150	2 611	6 305	3 152

Tabulka 7: Kalkulace vícenákladů řepky ozimé v letech 2021–2022

Varianta	2021			2022			SUMA	Vícenáklady
	KO	S	Aplikace	KO	S	Aplikace		
	Kč/ha			Kč/ha			Kč/ha	Kč/ha/rok
K	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	675	300	0	675	300	1 950	975
KO	1000	0	500	1000	0	500	3 000	1 500
KO+S	1000	675	1000	1000	675	1000	5 350	2 675

Tabulka 8: Souhrnná kalkulace výnosů a vícenákladů v letech 2021-2022 a celkový přínos

Varianta	SUMA výnosy		SUMA vícenáklady		Výnosy	Vícenáklady	Rozdíl
	Kč/ha	Kč/ha/rok	Kč/ha	Kč/ha/rok	Kč/ha/rok ku kontrole		
K	0	0	0	0	0	0	0
S	2 126	1 063	1 950	975	1 063	-975	88
KO	2 636	1 318	3 000	1 500	1 318	-1 500	-182
KO+S	6 305	3 152	5 350	2 675	3 152	-2 675	477

Z ekonomického hlediska se jeví jako nejvýhodnější aplikace kompostu obohaceného o síru, která dosahovala nejvyššího rozdílu mezi průměrnými ročními výnosy a náklady, a to 477 Kč/ha/rok. Také samostatná síra dosáhla lepších ekonomických výsledků než kontrolní varianta, a to o 88 Kč/ha/rok. Bohužel samostatný kompost vykazoval negativní ekonomickou bilanci v hodnotě -182 Kč/ha/rok.

Srovnání „novosti postupů“

Postupy uvedené v metodice jsou originální a nelze je jako celek porovnávat s žádnou jinou metodikou, protože podobná metodika nebyla vydána u nás ani v zahraničí.

Popis uplatnění certifikované metodiky

Metodika je určena zemědělským podnikům zaměřeným na rostlinnou výrobu. Metodika může být využita akreditovanými poradci v oblasti zemědělské výroby a ekonomiky, pracovníky decizní sféry v působnosti Ministerstva zemědělství včetně Oddělení regionálních odborů a Státního zemědělského intervenčního fondu, profesními organizacemi (Agrární komora ČR, Zemědělský svaz ČR aj.), pracovníky zemědělského výzkumu, studenty středních a vysokých škol orientovaných na zemědělskou problematiku, pedagogii a ochranu životního prostředí.

SOUHRN

Aplikace kvalitních organických hnojiv je principem udržitelného hospodaření na orné půdě. Jsou obecně považována za zdroj půdní organické hmoty a mají vysokou hnojivou hodnotu s postupným uvolňováním živin pro výživu rostlin. Intenzifikace zemědělské činnosti, pokles aplikace sirnatých hnojiv a nízká návratnost síry vlivem nedostatku statkových hnojiv a snížením atmosférických vstupů má za následek její nedostatek v půdě. Hnojení odpadní sírou společně s organickými hnojivy je jednou z cest, jak můžeme zlepšit podmínky pro růst řepky i celkovou rentabilitu zemědělské produkce. Dojde tím ke zlepšení celkového zdraví a kvality půdy, ale i výnosu plodiny. Hnojení řepky hnojivy obohacenými sírou vzniklou při čištění bioplynu má řadu výhod. Nedochozí k zatížení životního prostředí jako při získávání standardních hnojiv a takováto síra je lépe využitelná rostlinami i půdními mikroorganismy.

Inovační aspekt dosaženého výsledku spočívá v realizaci nových metodických postupů založených na vlivu aplikace organických hnojiv (kompostu) obohaceného o odpadní síru na změnu vybraných půdních parametrů v rámci daného managementu obhospodařování, s dopadem do výnosu a ekonomiky. Přísun kvalitní organické hmoty do půdy je žádoucí z hlediska zachování jejího úrodnostního potenciálu a ochrany půdního fondu.

Vzhledem ke zvýšení hektarových výnosů průměrně až o 229 kg/ha v porovnání s kontrolou přispěje zavedení nově ověřených metodických postupů ke zvýšení konkurenceschopnosti v zemědělské prvovýrobě u produkce zrna řepky olejné.

POUŽITÁ LITERATURA

- Almutairi K.F., Machado R.M.A., Bryla D.R., Strik B.C. (2017). Chemigation with micronized sulfur rapidly reduces soil pH in a new planting of northern highbush blueberry. *HortScience*, 52(10): 1413-1418. doi: 10.21273/hortsci12313-17.
- Baier J., Smetánková M., Baierová V. (1988). Diagnostika výživy rostlin. Praha, MZVŽ ČSR, 284 s.
- Berry P.M., Sylvester-Bradley R., Philipps L., Hatch D.J., Cuttle S.P., Rayns F.W., Gosling P. (2002). Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? *Soil Use Manage*, 18: 248-255. doi: 10.1079/sum2002129.
- Blair G.J. (2002). Sulphur Fertilisers: A Global Perspective. Proceedings No. 498. International Fertiliser Society, York.
- Bustamante M.A., Ceglie F.G., Aly A., Mihreteab H.T., Ciaccia C., Tittarelli F. (2016). Phosphorus availability from rock phosphate: Combined effect of green waste composting and sulfur addition. *Journal of Environmental Management*, 182: 557-563. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.08.016
- Campbell C.D., Chapman S.J., Cameron C.M., Davidson M.S., Potts J.M. (2003). A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 69: 3593–3599. doi: 10.1128/AEM.69.6.3593-3599.2003.
- Costello R.C. and Sullivan D.M. (2013). Determining the pH buffering capacity of compost via titration with dilute sulfuric acid. *Waste and Biomass Valorization*, 5(3): 505-513. doi: 10.1007/s12649-013-9279-y
- ČSU (2022). Průměrné ceny vybraných výrobků vstupujících do zemědělství. <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/shortUrl?su=92b62588> [citováno dne 6.11.2022]
- Dixit G., Singh A.P., Kumar A., Dwivedi S., Deeba F., Kumar S., Suman S., Adhikari B., Shukla Y., Trivedi P.K., Pandey V., Tripathi R.D. (2015). Sulfur alleviates arsenic toxicity by reducing its accumulation and modulating proteome, amino acids and thiol metabolism in rice leaves. *Scientific Reports*, 5: 16205. doi: 10.1038/srep16205.
- Gadino A.N., Walton V.M. and Dreves A.J. (2011). Impact of vineyard pesticides on a beneficial arthropod, *Typhlodromus pyri* (Acari: Phytoseiidae), in laboratory bioassays. *Journal of Economic Entomology*, 104(3): 970-977. doi: 10.1603/ec10330.
- Germida J.J. and Janzen H.H. (1993). Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. *Fertilizer Research*, 35(1-2): 101-114. doi: 10.1007/bf00750224
- Grigatti M., Cavani L., di Biase G., Ciavatta C. (2019). Current and residual phosphorous availability from compost in a ryegrass pot test. *Science of The Total Environment*, 677: 250-262. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.349
- Hu Z.Y., Beaton J.D., Cao Z.H., Henderson A. (2007). Sulfate formation and extraction from red soil treated with micronized elemental sulfur fertilizer and incubated in closed and open systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(11-12): 1779-1797. doi: 10.1081/css-120004822.

- Hu Z.Y., Zhao F.J., McGrath S.P. (2005). Sulphur fractionation in calcareous soils and bioavailability to plants. *Plant and Soil*, 268(1), 103-109. doi: 10.1007/s11104-004-0229-0
- Chapman S.J. (1989). Oxidation of micronized elemental sulphur in soil. *Plant and Soil*, 116(1): 69-76. doi: 10.1007/bf02327258.
- ISO 10390 (2005). Soil quality - determination of pH. Geneva, Switzerland, International Organization for Standardization.
- ISO_20130 (2018). Soil quality — measurement of enzyme activity patterns in soil samples using colorimetric substrates in micro-well plates.
- Kelleher B.P., Flanagan P.V., Hart K.M., Simpson A.J., Oppenheimer S.F., Murphy B.T., O'Reilly S.S., Jordan S.F., Grey A., Ibrahim A., Allen C.C.R. (2017). Large perturbations in CO₂ flux and subsequent chemosynthesis are induced in agricultural soil by the addition of elemental sulfur. *Scientific Reports*, 7: 11. doi: 10.1038/s41598-017-04934-9
- Ksiezopolska A., Wlodarczyk T., Glinski J., Flis-Bujak M. (2011). Respiration of soil enriched with manure and mineral materials (methodical aspects). *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(2): 387-392.
- Legay N., Personeni E., Slezack-Deschaumes S., Piutti S., Cliquet J.-B. (2014). Grassland species show similar strategies for sulphur and nitrogen acquisition. *Plant and Soil*, 375(1): 113-126. doi: 10.1007/s11104-013-1949-9.
- Liu E., Yan C., Mei X., He W., Bing S. H., Ding L., Fan T. (2010). Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. *Geoderma*, 158(3-4): 173-180. doi: 10.1016/j.geoderma.2010.04.029.
- Malik K.M., Khan K.S., Billah M., Akhtar M.S., Rukh S., Alam S., Munir A., Aulakh A.M., Rahim M., Qaisrani M.M., Khan N. (2021). Organic amendments and elemental sulfur stimulate microbial biomass and sulfur oxidation in alkaline subtropical soils. *Agronomy (Basel)*, 11(12): 18. doi: 10.3390/agronomy11122514
- Matamwa W., Blair G., Guppy C., Yunusa I. (2018). Plant availability of sulfur added to finished fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(4): 433-443. doi: 10.1080/00103624.2018.1430236.
- Rigby D., Cáceres D. (2001). Organic farming and the sustainability of agricultural systems. *Agricultural Systems*, 68: 21-40. doi: 10.1016/s0308-521x(00)00060-3.
- Salac I., Haneklaus S., Bloem E., Booth E., Sutherland K., Walker K., Schnug E. (2006). Influence of sulfur fertilization on sulfur metabolites, disease incidence and severity of fungal pathogens in oilseed rape in Scotland. *Landbauforsch Volk*, 56: 1-4.
- Samuil C., Vintu V., Iacob T., Saghin Gh., Trofin A. (2009). Management of permanent grasslands in North-Eastern Romania. *Grassland Science in Europe*, 14: 234-237.
- Sarda X., Diquelou S., Abdallah M., Nesi N., Cantat O., Le Gouee P., Avicé J.C., Ourry A. (2014). Assessment of sulphur deficiency in commercial oilseed rape crops from plant analysis. *Journal of Agricultural Science*, 152: 616-633. doi: 10.1017/s0021859613000105.
- Seufert V., Ramankutty N., Foley J.A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485: 229-232. doi: 10.1038/nature11069.

- Scherer H.W. (2001). Sulphur in crop production. *European Journal of Agronomy*, 14(2): 81-111. doi: 10.1016/S1161-0301(00)00082-4
- Siwik-Ziomek A., Szczepanek M. (2017). Soil enzyme activity and sulphur uptake by oilseed rape depending on fertilization and biostimulant application. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 68(1): 50-56. doi: 10.1080/09064710.2017.1358762.
- Soltanaeva A., Suleimenov B., Saparov G., Vassilina H. (2018). Effect of sulfur-containing fertilizers on the chemical properties of soil and winter wheat yield. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 24(4): 586-591.
- Sun R.B., Zhang X.X., Guo X.S., Wang D.Z., Chu H.Y. (2015). Bacterial diversity in soils subjected to long-term chemical fertilization can be more stably maintained with the addition of livestock manure than wheat straw. *Soil Biology and Biochemistry*, 88: 9-18, doi: 10.1016/j.soilbio.2015.05.007.
- Wu L., Ma L.Q., Martinez G.A. (2000). Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. *Journal of Environmental Quality*, 29(2): 424-429. doi: 10.2134/jeq2000.00472425002900020008x.
- Ye R., Wright A.L., McCray J.M. (2011b). Seasonal changes in nutrient availability for sulfur-amended everglades soils under sugarcane. *Journal of Plant Nutrition*, 34(14): 2095-2113. doi: 10.1080/01904167.2011.618571
- Ye R., McCray J.M., Wright A.L. (2011a). Microbial response of a calcareous histosol to sulfur amendment. *Soil Science*, 176(9): 479-486. doi: 10.1097/SS.0b013e31822769e7
- Záhora J., Urbánková O., Elbl J., Hynšt j., Stroblová M., Tůma I., Kintl A., Plošek L., Záhora J. (2015). *Půda, místo pro život*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015, 108 s. ISBN 978-80-7509-367-7.

SOUVISEJÍCÍ VÝSLEDKY DOSAŽENÉ BĚHEM ŘEŠENÍ PROJEKTU TH04030142

Časopis Agronomy (Jimp): Biochar and Sulphur Enriched Digestate: Utilization of Agriculture Associated Waste Products for Improved Soil Carbon and Nitrogen Content, Microbial Activity, and Plant Growth, doi: 10.3390/agronomy11102041

Časopis Frontiers in Plant Science (Jimp): Co-composting of cattle manure with biochar and elemental sulphur and its effects on manure quality, plant biomass and microbiological characteristics of post-harvest soil, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.1004879/full>

Časopis Chemical and Biological Technologies in Agriculture (Jimp): Impact of smart combinations of graphene oxide and micro/nanosized sulfur particles on soil health and plant biomass accumulation, doi: 10.1186/s40538-022-00323-1

Časopis Plants (Jimp): Using Waste Sulfur from Biogas Production in Combination with Nitrogen Fertilization of Maize (*Zea mays* L.) by Foliar Application, doi: 10.3390/plants10102188

Časopis Remote Sensing: Using UAV to Identify the Optimal Vegetation Index for Yield Prediction of Oil Seed Rape (*Brassica napus* L.) at the Flowering Stage, <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/19/4953>

Vědecká příloha časopisu Úroda (Jost): Aplikace různých druhů elementární síry a ovlivnění aktivity půdních mikroorganismů

Vědecká příloha časopisu Úroda (Jost): Ovlivnění půdní respirace přidavkem digestátu s různým obsahem síry

Vědecká příloha časopisu Úroda (Jost): Vliv aplikace síry kombinované s kompostem na výnos řepky a půdní parametry